

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-151341

(43)Date of publication of application : 18.06.1993

(51)Int.Cl.

G06F 15/62
G01C 21/00
G06F 15/70
G06F 15/70
G08G 1/0969

(21)Application number : 03-314775

(71)Applicant : NISSAN MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 28.11.1991

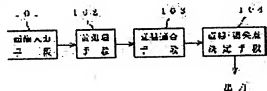
(72)Inventor : NOSO KAZUNORI

(54) RUNNING ROUTE DETECTING DEVICE FOR VEHICLE

(57)Abstract:

PURPOSE: To constitute the device so that it is strong against vibration, its processing speed is high, even a disconnected line can be detected surely, and also, a curvature of a running route can be detected.

CONSTITUTION: The device is provided with an image input means 101 for photographing the front, a pre-processing means 102 for extracting an edge point, a straight line conforming means 103 for setting a window in the vicinity of the previous linear expression, measuring coordinates of plural edge points in each window thereof and deriving plural linear expressions, and a straight line/dissipation point determining means 104 for estimating (x) (y) coordinates of a dissipation point and an inclination of each straight line passing through the dissipation point, so that the square sum of an error between each linear expression becomes minimum, based on these plural linear expressions. Plural lane markers are parallel, and by utilizing a fact that lane width and lane marker width are not fluctuated greatly, and assuming that a vehicle executes a quick motion in the vertical direction but does not execute a quick motion in the horizontal direction, the straight line and the dissipation point are derived by executing timewise and spatial smoothing which takes the assumption into consideration, based on the derived linear expression.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.12.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

2850608

[Date of registration]

13.11.1998

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

特開平5-151341

(43)公開日 平成5年(1993)6月18日

(51)Int.Cl. ³	識別記号	行内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 15/02	3 8 0	9287-5L		
G 0 1 C 21/00		Z 6864-2F		
G 0 6 F 15/70	4 5 0	9071-5L		
	4 8 0	F 9071-5L		
G 0 8 G 1/0969		7103-3H		

審査請求 未請求 請求項の数2(全13頁)

(21)出願番号 特願平3-314775

(22)出願日 平成3年(1991)11月28日

(71)出願人 000003997

日産自動車株式会社
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(72)発明者 鹿家 千典

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産
自動車株式会社内

(74)代理人 弁理士 中村 純之助 (外1名)

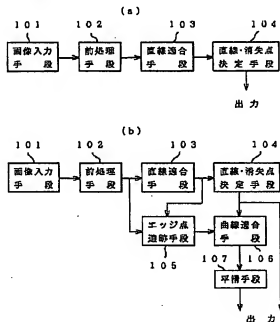
(54)【発明の名称】 車両用走行路検出装置

(57)【要約】

【目的】 振動に強く、処理速度が速く、途切れた線も確実に検出でき、また走行路の曲率を検出できる車両用走行路検出装置を提供する。

【構成】 前方を撮像する画像入力手段101と、エッジ点を抽出する前処理手段102と、前回の直線式の近傍にウィンドウを設定し、その各ウィンドウ内における複数のエッジ点の座標を計測して複数の直線式を求める直線適合手段103と、該複数の直線式に基づき、各直線式間の誤差の2乗和が最小となるように消失点のxy座標と該消失点を通る各直線の傾きを推定する直線・消失点決定手段104と、を備え、複数のレーンマークは平行であり、レーン幅やレーンマーク幅は時間的に大きく変動しないことを利用し、車両は垂直方向には速い動きをするが、水平方向には速い動きはないと仮定することにより、求めた直線式を基に、上記仮定を考慮にいたれた時間的空間的平滑化を行なって直線と消失点を求める。

(図1)



(2)

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】車両前方の道路画像を撮像する画像入力手段と、

上記画像入力手段からの信号を入力してエッジ点を抽出する前処理手段と、

前回の演算時における直線式の近傍にウィンドウを設定し、その設定された各ウィンドウ内における複数のエッジ点の座標を計測し、直線近似によって複数の直線式を求める直線適合手段と、

上記の求められた複数の直線式に基づき、各直線式間の誤差の2乗和が最小となるように消失点のx-y座標と該消失点を通る各直線の傾きに対応する量とを推定して今回の結果とする直線・消失点決定手段と、

を備えたことを特徴とする車両用走行路検出装置。

【請求項2】車両前方の道路画像を撮像する画像入力手段と、

上記画像入力手段からの信号を入力してエッジ点を抽出する前処理手段と、

前回の演算時における直線式の近傍にウィンドウを設定し、その設定された各ウィンドウ内における複数のエッジ点の座標を計測し、直線近似によって複数の直線式を求める直線適合手段と、

上記の求められた複数の直線式に基づき、各直線式間の誤差の2乗和が最小となるように消失点のx-y座標と該消失点を通る各直線の傾きに対応する量とを推定して今回の結果とする直線・消失点決定手段と、

上記前処理手段の結果と上記直線適合手段の検出結果とに基づき、レーンマーカに対応するエッジ点を抽出するエッジ点追跡手段と、

上記の抽出されたエッジ点に曲線式を当てはめ、曲線の曲率を検出する曲線適合手段と、

上記曲線適合手段の結果を平滑する平滑手段と、
を備えたことを特徴とする車両用走行路検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、例えば自動車や無人搬送車などにおける自動走行用の道路領域を、画像処理によって認識する走行路検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の道路領域の認識装置としては、例えば、特開昭63-142478号公報に記載のものがある。上記の装置においては、車両前方に設置されたカメラから画像を入力し、白線候補点を抽出した後、Hough変換によって直線を検出し、その直線を走行路の端を示す白線として認識するものである。また、この装置においては、白線候補点の検出の前処理として、縦方向のエッジを持つ点を白線以外の点として除去することによって精度を上げるように構成している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の

ような従来の道路領域の認識装置においては、黒から白そして黒に変化する点を白線候補点とし、かつ、候補点全体にわたってHough変換を行うことによって直線検出を行う手法となっていた。そのため、

(1) 画面全体の白線候補点についてHough変換を行なう必要があることで処理時間が長くなる、

(2) 白線の無い道路端の検出ができない、

(3) 直線近似のみであり、カーブ程度の検出が出来ない、そのため特に急カーブの箇所では直線近似した場合に誤差が大きくなる、

という問題があった。

【0004】上記の問題を解決するため、本出人は、前回の演算結果を基にウィンドウを設定し、ウィンドウ内で決められた傾きを持つエッジを追跡し、直線近似と時間フィルタリングによる直線式の修正を行なうように構成した車両用走行路検出装置を既に申請している(特願平2-141269号)。この車両用走行路検出装置においては、処理時間が短く高応答性であり、かつ高信頼性でレーンマーカと走行路線の認識を行なうことが出来る。しかし、上記の車両用走行路検出装置においては、走行路上の2本あるいは3本の直線(道路左端を示す直線、車線境界線、センターライン等)の検出を各々独立に行なっているため、当該車両前方を走行中の他車に一部が隠されるような線、或いはセンターラインや車線境界線のように途切れた線については精度よく求めることが困難な場合があり、特に車体が上下に振動しているような場合には、精度良く求められない恐れがある、という問題があり、また、上記(3)のカーブ程度の検出が出来ない、という問題も残されていた。

【0005】本発明は上記のごき問題を解決するためになされたものであり、車体の振動に強く、処理速度が速く、かつ途切れた線も確実に検出することの出来る車両用走行路検出装置を提供することを目的とする。また、本発明の他の目的は、上記の目的に加えて走行路の曲線の度合を検出することにより、急カーブでも誤差の少ない走行路検出を行なうことの出来る車両用走行路検出装置を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明においては、特許請求の範囲に記載するように構成している。すなわち、請求項1に記載の発明においては、車両前方の道路画像を撮像する画像入力手段と、エッジ点を抽出する前処理手段と、前回の演算時における直線式の近傍にウィンドウを設定し、その設定された各ウィンドウ内における複数のエッジ点の座標を計測し、直線近似によって複数の直線式を求める直線適合手段と、上記の求められた複数の直線式に基づき、各直線式間の誤差の2乗和が最小となるように消失点のx-y座標と該消失点を通る各直線の傾きに対応する量とを推定して今回の結果とする直線・消失点決定手段と、を備

えている。なお、上記画像入力手段は、例えば後記図2のビデオカメラ1に相当し、また、上記前処理手段、直線適合手段および直線・消失点決定手段の部分は、例えば後記図2の画像処理部2に相当し、例えばマイクロコンピュータで構成される。また、請求項2に記載の発明においては、上記請求項1に記載の構成要素に加えて、上記前処理手段の結果と上記直線適合手段の抽出結果とに基づき、レーンマーカーに対応するエッジ点を抽出するエッジ点追跡手段と、上記の抽出されたエッジ点に曲線式を当てはめ、曲線の曲率を抽出する曲線適合手段と、
10 上記曲線適合手段の結果を平滑する平滑手段と、を備えている。なお、上記のエッジ点追跡手段、曲線適合手段および平滑手段は、例えば後記第2図の画像処理部2内に含まれる。

【0007】

【作用】図1は、本発明の機能を示すブロック図であり、(a)は請求項1の発明に相当し、(b)は請求項2の発明に相当する。まず、図1(a)において、画像入力手段101は、車両前方の道路画像を撮像するものであり、例えばビデオカメラである。また、前処理手段
20 102は、画像入力手段101からの信号を入力してエッジ点を抽出するものである。なお、このエッジ点とは、レーンマーカーや道路端に相当すると予想される明暗度の変化する点、具体的には、例えば「暗→明→暗」又は「明→暗」のように変化する点である。なお、本発明において、レーンマーカーとは、道路上に引かれた白線などのように走行路の端やセンターラインなどを示す線状の目印である。また、道路端とは道路の端部と他の領域との境となる溝、段差、中央分離帯（芝生や植木等）などであって画像上で明暗の識別が出来るものを意味する。次に、直線適合手段103は、前回の演算時における直線式の近傍にウィンドウを設定し、その設定された各ウィンドウ内における複数のエッジ点の座標を計測し、直線近似によって複数の直線式を求める。なお、直線適合とは、複数のエッジ点に直線を当てはめて最も適合する直線式を求めることである。次に、直線・消失点決定手段104は、上記の求められた複数の直線式に基づき、各直線式間の傾きの2乗和が最小となるように消失点のx-y座標と該消失点を通る各直線の傾きに対応する重とを推定して今回の結果とする。上記直線・消失点決定手段104の出力、すなわち抽出された直線はレーンマーカーや道路端に対応するものであるから、この直線を車両前方の走行路を示すものとして後続の表示装置や自動操縦装置等に与える。

【0008】なお、本説明では2車線道路を想定し、3本のレーンマーカーを求めるものとして進めるが、求めるレーンマーカー本数は2本以上であれば何本でもかまわない。道路端が平行であると仮定すると、3本（2車線の場合）のレーンマーカーは画像上で1点に交わる。この消失点（無限遠点、複数の直線が本来交わるべき点）の水

平方向の座標xは、車両と道路との相対角度に対応する最も重要なパラメータである。しかし、前記の先行技術のように3本のレーンマーカーを独立に求めると、必ずしも1点で交わるとは限らず、したがって、それぞれのレーンマーカーの抽出結果も誤差を含んでいることになる。本発明は、他車等によって隠されたレーンマーカーやノイズに対して、より正確なレーンマーカー位置推定を行なうため、3本のレーンマーカーは平行であり、かつレーン幅やレーンマーカー幅は時間的に大きく変動しないことを利用し、また、車両は垂直方向には車両の上下運動で大きく速い動きをするが、水平方向（車両の操舵に対応）には速い動きはないと仮定することにより、画像からまず3本のレーンマーカーの左右端をそれぞれ直線適合し、求
また6本の直線式を基に、上記仮定を考慮にいたれた時間的空間的平滑化を行なうことによって直線と消失点を求めるように構成したものである。それによって、本発明においては、整合性がよく、かつ車体のピッチ角変動や高さの変動に強い走行路検出を行なうことが出来る。

【0009】次に、請求項2に記載の発明においては、上記の請求項1に記載の構成によって求めた直線式と消失点を用いて、エッジ点を追跡し、追跡点の座標値に曲線を当てはめた後、複数本の曲線式から道路の曲率を求めるように構成したものである。上記のように請求項2に記載の発明においては、先に直線抽出し、その後に直線上の点を出発点としてエッジ方向画像をエッジ方向に沿って追跡するため、他車の存在や路面上の汚れに強い曲線式（走行路）や曲率情報が得られる。

【0010】

【実施例】図2は、本発明の一実施例のブロック図である。図2において、1はビデオカメラであり、車両前部に前向きに設置され、車両前方の道路画像を撮像して電気信号に変換する。また、画像処理部2は、例えばマイクロコンピュータで構成され、ビデオカメラ1からの映像信号を入力して画像処理を行ない、走行路を検出する。この画像処理部の抽出結果は、図示しない車両制御装置等の外部装置に送られ、自動走行制御等に用いられる。また、表示部3は画像処理部2の抽出結果を表示するものである。例えばCRT表示装置や液晶表示装置等である。上記の画像処理部の処理内容は、前記図1の102～104に示したときと同じものであるが、図3は、上記の内容をより詳細に説明したブロック図である。図3の内容は、大別して「画像入力」、「前処理」、「画面振動（ピッチ角変動）成分の計測」、「直線適合」、「各直線式と消失点の決定」、「表示」の各部分に分けられる。基本的には前記図1(a)と同様であるが、「画面振動成分の計測」の部分が増加されている。この部分は必須のものではないが、これを設けることによってレーンマーカー検出の追従性を向上させることが出来る。

【0011】以下、図3に示す各処理について詳細に説

明する。なお、本実施例においては、2車線道路を想定し、白線や黄線で引かれた3本のレーンマーカー（道路上に引かれた線状の模様）を求める場合について説明するが、求めるレーンマーカー本数は2本以上であれば何本でもかまわない。また、画像は256×240のモノクローム撮像画像で、連続的に入力される画像を処理するものである。そして、現時点をkで表す。また、6本の直線を直線1または直線式 i ($i=1\sim6$)と表し、直線1 ($i=1$)と直線2 ($i=2$)は最も左側のレーンマーカーのそれぞれ左端と右端を、直線3と4は中央のレーンマーカーのそれぞれ左端と右端を、直線5と6は最も

*も右側のレーンマーカーのそれぞれ左端と右端を表すものとする。3本のレーンマーカーの検出結果は、それぞれの左端と右端の2本の直線の平均値として求め、この場合は番号jにて表す。したがって $j=1\sim3$ である。

【0012】(1) 画像入力と前処理

前処理は、濃度勾配によってエッジの方向を求める。すなわち、各時刻kにおける入力画像A(x, y)に対し、SOBELオペレータを用いてx方向とy方向の1次微分を求め、それぞれ $S_x(x, y)$ 、 $S_y(x, y)$ とする。エッジ方向画像G(x, y)は、

$$G(x, y) = \text{sign} \{ S_x(x, y) \} \cdot \tan^{-1} \{ S_y(x, y) / S_x(x, y) \}$$

で与えられる。ただし、

$$|S_x(x, y)| + |S_y(x, y)| < C, \quad (C = \text{しきい値})$$

の点はエッジ点ではないと判断する。上記のごとき前処理はパイプライン式の画像処理装置において高速度で実行することが出来るので、画像入力と同時に演算を行なってもよい。

【0013】(2) 画面振動成分の計画
路面の勾配が変化しないとする。画像上でのレーンマーカー位置は、車両振動に伴ってx軸方向に緩やかに動くと考えられる。しかしながら、ピッチ角変動に起因する画面振動により、レーンマーカー位置はy軸方向にも急峻に移動する。そこで、レーンマーカー検出の追従性向上をねらいとして、レーンマーカー検出と独立して画面振動成分の計画を行ない、後の消失点や各直線の推定の誤差に使用する。時刻k=0において、エッジ方向画像G(x, y)をy軸に沿って下から上へ走査し、最初に見つかったエッジ点のy座標を $Y(x, 0)$ として初期値とする。また、エッジの連続数を表す $R(x, 0)$ を0にクリアする。時刻kにおいては、 $Y(x, k-1)$ を中心とした幅Cの範囲内でG(x, y)をやはり下から上

※に走査し、エッジ点のy座標 $Y(x, k)$ を得る。そして、

$$R(x, k) = R(x, k-1)$$

とする。もしCの範囲内にエッジ点が存在しなければ、最下点から再び走査して $Y(x, k)$ を求め、 $R(x, k) = 0$ とする。レーンマーカーやガードレールの上端など、車両の進行と平行な方向をもつエッジについては、車両が走行中でも画面上の位置は見かけ上変化しないものと考えられるので、画面振動によるy軸方向の移動のみが観測される。 $R(x, k)$ はこのようなエッジ点を選択するためのものであり、エッジが何フレームか連続して現われたかを示すものである。 $Y(x, k)$ と $R(x, k)$ を画面全体をわたって求めた後、しきい値を C_1 として $R(x, k) > C_1$ となるxにおいて、 $Y(x, k) - Y(x, k-1)$ を平均して画面振動速度 $v(k)$ とする。すなわち、

$$v(k) = Y(x, k) - Y(x, k-1)$$

である。なお、y軸の走査は密に行なう必要はなく、xライン毎に間引き走査が可能である。画面振動成分は、消失点（無限遠点、複数の直線が一点で交わるべき点）のy座標に現われるため、 $v(k)$ は消失点を求めるための1つのパラメータとして用いる。

【0014】(3) 直線適合

まず、図4に示すような近傍領域内で、エッジ点画像G(x, y)から各直線の候補点を探索する。そして、候補点の座標から直線適合を行ない、各直線式を求める。なお、図4において、 $(x, (k-1))$ 、 $(y, (k-1))$ は前回の演算（前フレーム）で求めた消失点の座標である。また、左から2本目のレーンマーカーは、例えばセンターラインのように途切れた線を示す。候補点の探索領域は、図4に示すように前フレームのレーンマーカー検出の結果に基づき3つの領域で行なう。すなわち、直線1と直線2の候補点は同一の領域 ($j=1$) 内で探索す

for {x | $R(x, k) > C_1$ }

である。直線3と4（傾角 $j=2$ ）、直線5と6（傾角 $j=3$ ）も同様である。3つの探索領域を番号jで区別する。また、隣接する2つの領域のx軸の方向の境界は、図4に示すように前フレームの2つのレーンマーカー検出結果の中点を結ぶ直線XM1、XM2とする。また、各領域のy軸の上限は、前フレームの消失点の座標を $y_{j, (k-1)}$ とすれば、

$$y_{j, (k-1)} + v(k) + y_{j+1, (j=1\sim3)}$$

とする。各上限から $y_{j+1, (j=1\sim3)}$ ライン毎に n_1 ラインを探索する。 $y_{j+1, (j=1\sim3)}$ と $y_{j+1, (j=1\sim3)}$ は各領域毎に設定する。車両が左車線を走行しているとする。最も右側のレーンマーカーは傾きが水平に近く、レーンマーカーの手前は画面からはみ出る。このようなレーンマーカーでも確実に捉えられるように、対応する探索領域の $y_{j+1, (j=1\sim3)}$ は他の領域よりも上部に設定し、走査は密に行なう。探索の走査は、画面中央から外側に向かって行なう。これは、混在する他車のエ

ッジ点や道路外のノイズの影響を緩和するためである。すなわち、左側の領域 ($j=1$) は右から左へ行ない、右側の領域 ($j=3$) は左から右へ行ない、中央の領域 ($j=2$) は、左車線を走行中は左から右へ、右車線を走行中は右から左へ行ない。候補点としては、各ラインの走査において最初に現れた、以下の条件を満たすエッジ点とし、その座標値を記憶する。上記の条件は下記の通りである。直線1と直線2は右上がり、それぞれ

$$(\pi/8) < G(x, y) < (3\pi/8) \quad (\text{直線 1})$$

$$(-7\pi/8) < G(x, y) < (-5\pi/8) \quad (\text{直線 2})$$

なる勾配を持つエッジ点であり、直線3と4は、それぞれ

$$(\pi/6) < G(x, y) < (5\pi/6) \quad (\text{直線 3})$$

$$(-5\pi/6) < G(x, y) < (-\pi/6) \quad (\text{直線 4})$$

なる勾配を持つエッジ点であり、直線5と6は、それぞれ

$$(5\pi/8) < G(x, y) < (7\pi/8) \quad (\text{直線 5})$$

$$(-3\pi/8) < G(x, y) < (-\pi/8) \quad (\text{直線 6})$$

なる勾配を持つエッジ点である。

【0015】上記のようにして3つの探索領域から6組の候補点を得た後、それぞれ直線適合を行なって6本の直線式を求める。すなわち、候補点の中で任意の2点を選び、2点を結ぶ線分上に他の候補点が何点乗っているかをカウントする。そして全ての2点の組み合わせの中で、カウント数の最も大きな値を与える2点を直線の端点として決定する。また、定数 n_i によってカウント数を正規化して、直線 i の傾きからし p_i とする ($0 \leq p_i \leq 1$)。上記のごとき直線適合の結果として、直線式 $x = a_i'(k) \cdot y + b_i'(k)$ ($i=1 \sim 6$) を得る。以下、 $a_i'(k)$ と $b_i'(k)$ については単に a_i' 、 b_i' と記す。

【0016】(4) 消失点と直線式の決定

3本のレーンマークは、路面上で平行であり、かつレーン

によって求める。ただし、 $i=1 \sim 6$ であるが $i=6$ の時は $i+1=1$ とする。また、 w_i は平滑化時定数である ($0 < w_i < 1$)。

【0019】次に、上記の各誤差を2乗し、重みをかけ※

$$E^2 = \sum_{i=1}^6 w_{rd} (E_{ad}^2 + E_{bd}^2) + w_x \cdot E_x^2 + w_y \cdot E_y^2$$

$$+ \sum_{i=1}^6 w_n \cdot E_{ad}^2 + \sum_{i=1}^6 w_w \cdot E_{ad}^2 \quad \dots (\text{数1})$$

* レンマーク幅も一定であると仮定し、無限遠点の画像上での座標、すなわち消失点で6本の直線が必ず交わるように各直線と消失点とを推定する。上記のように仮定すれば、各直線は消失点を通るため、求めるパラメータは、消失点の座標 $x_i(k)$ と $y_i(k)$ 、および直線式1のパラメータとして傾き $a_i(k)$ である。ここでは、 $d_i(k) = a_i(k) \cdot y_i + b_i$ において $d_i(k)$ を推定する。これは変数の単位を画素に統一するためである。消失点と各直線は、次の条件を最もよく満たすよう推定する。なお、直線適合の結果の式は $x = a_i' \cdot y + b_i'$ で表わされている。

【0017】条件は下記の (a) ~ (f) である。

(a) $y = y_i(k)$ における直線適合結果の x 座標の値 $a_i' \cdot y_i(k) + b_i'$ は $x_i(k)$ と一致する。

(b) $y = y_i(k) + y_i$ における直線適合結果の x 座標 $a_i' \cdot [y_i(k) + y_i] + b_i'$ は $x_i(k) + d_i(k)$ と一致する (図5参照)。

(c) $x_i(k)$ の時間変化量 $x_i(k) - x_i(k-1)$ は小さい (すなわち車両の操舵は滑らかと仮定)。

(d) 直線の傾きの時間変化量 $d_i(k) - d_i(k-1)$ は小さい (すなわち道路の形状変化や車両の操舵は滑らかと仮定)。

(e) $y_i(k)$ の単位時間変化量 $y_i(k) - y_i(k-1)$ は画面振動速度 $v(k)$ と一致する。

(f) 隣合う直線の傾きの差 $d_{i+1}(k) - d_i(k)$ は時間的に一定である (すなわちレーン幅やレーンマーク幅は一定と仮定)。

【0018】次に、上記のそれぞれの条件に対する誤差を以下のように定義する。

(a) の誤差 $E_{ai} = x_i(k) - a_i' \cdot y_i(k) - b_i'$

(b) の誤差 $E_{bi} = x_i(k) + d_i(k) - a_i' \cdot [y_i(k) + y_i] - b_i'$

(c) の誤差 $E_{ci} = x_i(k) - x_i(k-1)$

(d) の誤差 $E_{di} = d_i(k) - d_i(k-1)$

(e) の誤差 $E_{ei} = y_i(k) - y_i(k-1) - v(k)$

(f) の誤差 $E_{fi} = d_{i+1}(k) - d_i(k) - g_{i+1,i}(k)$

なお、上記 (f) の誤差における $g_{i+1,i}(k)$ は $d_{i+1}(k) - d_i(k)$ の時間的な平均値であり、

$$g_{i+1,i}(k) = (1 - w_g) \{d_{i+1}(k-1) + d_i(k-1)\} + w_g \cdot g_{i+1,i}(k-1)$$

※ 総和をとる。その値を E^1 とおけば、 E^1 は下記 (数1) 式で示される。

【0020】

【数1】

【0021】上記(数1)式において、 w_s は直線*i*の直線適合の確からしさ*p*に対応させる。また、 w_s と w_x は時間的平滑化の時定数に相当する。 w_x は直線適合結果に対する画像振動成分計測結果の重みである。そして w_s はレーン幅やレーンマーカー幅の重みで、いわば空間的平滑化係数であり、それぞれ適切な値に設定する。次に、上記(数1)式で示される誤差の総和*E*'を最小に*

とするように $d_i(k)$ 、 $x_s(k)$ 、 $y_s(k)$ を推定する。この最小化は、各変数で偏微分してそれぞれ0にすることによって行なうことが出来る。上記の結果として下記(数2)式に示す連立1次方程式が得られる。

【0022】

【数2】

$$\begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdots w_{i-1} & -w_w & 0 & \cdots 0 & w_{a,i-1} \\ \cdots -w_w & w_i & -w_w & \cdots 0 & w_{ai} \\ \cdots 0 & -w_w & w_{i+1} & \cdots 0 & w_{a,i+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdots 0 & 0 & 0 & \cdots \sum_i w_{pi} + w_x & \sum_i w_{ai} \\ \cdots w_{a,i-1} & w_{pa,i} & w_{a,i+1} & \cdots \sum_i w_{ai} & 2 \sum_i w_{pi} a'_i + w_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots \\ d_{i-1}(k) \\ d_i(k) \\ d_{i+1}(k) \\ \vdots \\ x_s(k) \\ y_s(k) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} w_{p,i-1}(a'_{i-1} \cdot y_c + b'_{i-1}) + w_q \cdot d_{i-1}(k-1) + w_w(g_{i,i-1} - g_{i-1,i-2}) \\ w_{pi}(a'_i \cdot y_c + b'_i) + w_q \cdot d_i(k-1) + w_w(g_{i+1,i} - g_{i,i-1}) \\ w_{p,i+1}(a'_{i+1} \cdot y_c + b'_{i+1}) + w_q \cdot d_{i+1}(k-1) + w_w(g_{i+2,i+1} - g_{i+1,i}) \\ \vdots \\ \sum_i w_{pi} \cdot b'_i + w_x \cdot x_s(k-1) \\ \sum_i w_{pi} \cdot a'_i (a'_i \cdot y_c + 2b'_i) + w_y \{y_s(k-1) + v(k)\} \end{bmatrix}$$

…(数2)

【0023】ただし、

$$w_s = w_{s1} + w_s + 2w_w$$

$$w_{s1} = -w_{s1} \cdot a'_i$$

とおいた。上記(数2)式で示す連立1次方程式は、容易に解くことができ、時刻*k*における消失点 $x_s(k)$ 、※40

$$\{(d_{i,i-1}(k) + d_{i+1}(k)) / 2\} - x_s(k) \quad i = 1 \sim 3$$

である。上記の消失点 $x_s(k)$ 、 $y_s(k)$ とレーンマーカーの傾きに対応する値 $f_i(k)$ ($i = 1 \sim 3$)をレーンマーカー検出の結果とする。

【0025】(5) 走行車線の識別

前記図3には、走行車線の識別は記載していないが、現在走行中の車線の識別は次のようにして容易に行なうことが出来る。走行中の車線の識別は、候補点探索における中央の領域の走査方向と、左右の探索領域の上限(y_{u1})や探索ライン数(n_1)などを、決定するための情

※ $y_s(k)$ 、および消失点を通る直線*i*が求められる。

【0024】3本のレーンマーカー検出結果としては、各レーンマーカーの左右端に対応する2本の直線検出結果の平均とする。すなわち、レーンマーカー*j*の傾きを $f_j(k) / \gamma_j$ として、

$$\{(d_{i,i-1}(k) + d_{i+1}(k)) / 2\} - x_s(k) \quad i = 1 \sim 3$$

報として用いる。識別は単に中央のレーンマーカー($j = 2$)の傾き $f_2(k)$ の符号によって行なう。すなわち、 $f_2(k)$ が正なら左車線を、負なら右車線を走行中と判断することが出来る。

【0026】次に、前記図1(b)にブロック図を示した本願の第2の実施例について説明する。この実施例は、前記図1(a)の実施例に、曲線状のレーンマーカーのカーブの度合(曲率)を検出する構成を追加したものである。図1(b)において、画像入力手段101、前

処理手段102、直線適合手段103、直線・消失点決定手段104の部分は、前記図1(a)および図2〜図5で説明したものと同一である。本実施例は、上記101〜104の各手段の他に、エッジ点追跡手段105、曲線適合手段106および平滑手段107を設けたものである。以下、上記の追加した部分について説明する。

【0027】(1) エッジ点追跡

エッジ点追跡は、曲線適合のための候補点座標を求めるものであり、外乱(他車のエッジ点や路面上の汚れ)の影響をなるべく避けるために行なう。これは前記の前処理手段101で求めたエッジ点と直線適合手段103で求めた直線式とによって行なう。図6はエッジ点追跡を説明するための画像を示す図である。図6において、①は第1のレーンマーカの左端線、②は第1のレーンマーカの右端に対応する直線、③は第2のレーンマーカの左端に対応する直線、④は第2のレーンマーカの右端線、⑤は第3のレーンマーカの左端に対応する直線、⑥は第3のレーンマーカの右端線である。なお、第2のレーン

(数3)

$$0^\circ \leq B(x_i, y_i) \leq 45^\circ$$

{ の時 {

$$-180^\circ \leq B(x_i, y_i) < -135^\circ$$

$$45^\circ < B(x_i, y_i) \leq 90^\circ$$

{ の時 {

$$-135^\circ \leq B(x_i, y_i) < -90^\circ$$

$$90^\circ < B(x_i, y_i) \leq 135^\circ$$

{ の時 {

$$-90^\circ \leq B(x_i, y_i) < -45^\circ$$

$$135^\circ < B(x_i, y_i) \leq 180^\circ$$

{ の時 {

$$-45^\circ \leq B(x_i, y_i) < 0^\circ$$

なお、(数3)式において、jは、j=1を初期値とし、何番目のエッジ点かを表す添字である。また、定数mは2〜8画面程度が適切である。上記の結果、もしB(x_{i+1}, y_{i+1})がエッジ点であれば、座標x_{i+1}, y_{i+1}を記憶し、j+1をjとして繰り返し処理を行なう。エッジ点でない時は、±1画面の範囲で近傍画素を※

B(x_{i+1}, y_{i+1}) - α < B(x_{i+1}, y_{i+1}) の範囲である時のみ、エッジ点であると判断する。なお、αは15°〜30°程度が適当である。この制限により、ノイズや他車の混入に強いエッジ点追跡が可能となる。なお、図6に示した例の場合、第2のレーンマーカは途切れた線になっているので、エッジ点の追跡は中断される。

【0029】(2) 曲線適合

$$x = c_1 \cdot (y - y_m) + \frac{d_1}{y - y_m} + e_1 \quad \dots (数4)$$

【0031】上記の曲線式を用いると、係数d₁は、実際の道路の曲率に比例した量として求める。上記の曲線

* マーカはセンターラインであって図示のごとく途切れた線になっている。また、太線の矢印はエッジ点追跡を示す。或る直線において、画面下方のy_mにおけるxの値を直線式から求めて、x_mとおく。すなわち、x_i = a_i · y_m + b_i (i = 1〜6) である。そして、前処理画像B(x, y)において、B(x_m, y_m)がエッジ点であるか否かを調べる。もしエッジ点でなければB(x_m + 1, y_m)、B(x_m - 1, y_m)などの近傍点について調べる。エッジ点があれば、その点の座標をx_i, y_iとして記憶する。もし、エッジ点でなければ、エッジ点を表すNを0として処理を終了する。次にx_i, y_iを出発点としてエッジの追跡を行なう。B(x_i, y_i)はエッジの方向角を表わしているので、画面上方に向かって、このエッジ方向で示された方向に追跡する。具体的には、現在の座標をx_i, y_iとすると、下記(数3)式で示されるx_{i+1}, y_{i+1}を求め、点B(x_{i+1}, y_{i+1})がエッジ点か否かを調べる。

{ 0028 }

$$x_{i+1} = x_i + m$$

$$y_{i+1} = y_i - m \cdot \tan B(x_i, y_i)$$

$$x_{i+1} = m \cdot \tan\{90^\circ - B(x_i, y_i)\} + x_i$$

$$y_{i+1} = y_i - m$$

$$x_{i+1} = x_i - \tan\{B(x_i, y_i) - 90^\circ\}$$

$$y_{i+1} = y_i - m$$

$$x_{i+1} = x_i - m$$

$$y_{i+1} = y_i - m \cdot \tan B(x_i, y_i)$$

※調べる。それでもエッジ点がない時はN=jとして処理を終了する。近傍にエッジ点があった時はその座標をx_{i+1}, y_{i+1}として記憶し、j = j+1として繰り返す。また、上記の処理において、レーンマーカや道路線は、大きくは折れ曲がらないことを考慮して、エッジ点に制約をつけることができる。例えば

$$B(x_i, y_i) - \alpha < B(x_i, y_i) + \alpha$$

★以上の処理を各直線についてそれぞれ行なうと3組のエッジ点座標列が得られるので、それぞれの組で曲線適合を行なう。曲線適合は、当てはめる曲線は下記(数4)式で示されるものとし、係数c₁, d₁, e₁ (i = 1〜6)を求めることによって行なう。

{ 0030 }

{ 数4 }

適合は最小自乗法で容易に求めることができる。すなわち、エッジ点をx_i, y_iとし、N点のデータがあると

する。また、

$$r_i = y_i - y_s, \quad s_i = 1 / (y_i - y_s)$$

とおく。上式において y_s は先に求めた消失点の y 座標

である。添字 i を略して

$$e_i = c \cdot r_i + d \cdot s_i + e - x_i \quad *$$

* を傾差と考え、下記 (数5) 式を最小にする c, d, e

を求めればよい。

[0032]

[数5]

$$\sum_{j=1}^N e_j^2 = \sum_{j=1}^N (c \cdot r_j + d \cdot s_j + e - x_j)^2 \quad \dots (数5)$$

[0033] 上記 (数5) 式を最小とする c, d, e を ※ [0034]

求めるには、下記 (数6) 式から下記 (数7) 式に示す 10 [数6]

方程式が求められるので、(数7) 式を解けばよい。 ※

$$\frac{\partial \sum e_j^2}{\partial c} = \sum_{j=1}^N 2 (c r_j + d \cdot s_j + e - x_j \cdot r_j) = 0$$

$$\frac{\partial \sum e_j^2}{\partial d} = \sum_{j=1}^N 2 (c r_j \cdot s_j + d \cdot s_j^2 + e s_j - x_j s_j) = 0$$

$$\frac{\partial \sum e_j^2}{\partial e} = \sum_{j=1}^N 2 (c r_j + d s_j + 1 - x_j) = 0$$

[0035]

★ ★ [数7]

$$\begin{bmatrix} \sum r_j^2 & \sum s_j r_j & \sum r_j \\ \sum s_j r_j & \sum s_j^2 & \sum s_j \\ \sum r_j & \sum s_j & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \\ d \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_j r_j \\ \sum x_j s_j \\ \sum x_j \end{bmatrix} \quad \dots (数7)$$

[0036] 上記 (数7) 式を解くことにより、 $c,$

d, e はそれぞれ下記 (数8) 式に示すようにして求め

られる。

★ [0037]

[数8]

☆30

$$c = \frac{\begin{vmatrix} \sum x_j r_j & \sum s_j r_j & \sum r_j \\ \sum x_j s_j & \sum s_j^2 & \sum s_j \\ \sum x_j & \sum s_j & N \end{vmatrix}}{D}$$

$$d = \frac{\begin{vmatrix} \sum r_j^2 & \sum x_j r_j & \sum r_j \\ \sum s_j r_j & \sum x_j s_j & \sum s_j \\ \sum r_j & \sum x_j & N \end{vmatrix}}{D}$$

... (数8)

$$e = \frac{\begin{vmatrix} \sum r_j^2 & \sum s_j r_j & \sum x_j r_j \\ \sum s_j r_j & \sum s_j^2 & \sum x_j s_j \\ \sum r_j & \sum s_j & \sum x_j \end{vmatrix}}{D}$$

[0038] ただし、上記 (数8) 式において、 D は下 50 記 (数9) 式に示すときのものである。

[0039]

* * [数9]

$$D = \begin{vmatrix} \Sigma r_j^* & \Sigma s_j r_j & \Sigma r_j \\ \Sigma s_j r_j & \Sigma s_j^* & \Sigma s_j \\ \Sigma r_j & \Sigma s_j & N \end{vmatrix} \quad \dots (数9)$$

[0040] 以上の処理により、各レーンマーカに対する曲線パラメータ c_i 、 d_i 、 e_i ($i=1 \sim 6$) が求められる。また、それぞれの確からしさとしては、それ

ぞれのエッジ点数 N_i を用いるものとする。
[0041] 次に、カーブ度 (曲率) を決定する。3本のレーンマーカは平行に描かれているものと仮定すると、画像上における曲率に対応した量 d_i の値は近似的に等しく ($d_1 = d_2 = d_3$) となる。前記のエッジ点追跡において、例えばセンターラインのように途切れた線※

$$d_a = \frac{\sum_{i=1}^3 d_a \cdot N_a}{\sum_{i=1}^3 N_a} \quad \dots (数10)$$

[0044] なお、上記のように3本の曲線の曲率を平均化するのは、空間的な平滑化に相当する。

[0045] (3) 平滑化
次に、曲率は時間的に大きくは変化しないことを利用して、時間的な平滑化を行なう。すなわち、時刻 t における平滑曲率を $d(t)$ とし、また、下記 (数11) 式のごとき値を $N(t)$ とする。

$$P(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } N(t) \leq T_1 \\ (N(t) - T_1) / (T_2 - T_1) & \text{if } T_1 < N(t) < T_2 \\ 1 & \text{if } N(t) \geq T_2 \end{cases} \quad \star$$

ただし、 T_1 、 T_2 ：あらかじめ設定された適当なしきい値とすると、 $0 \leq P(t) \leq 1$ となる。平滑化した $d(t)$ は、

$d(t) = \{1 - P(t)\} \cdot d(t-1) + P(t) \cdot d$ とする。ここで β は1に近い定数 (0.9~0.99程度で適切な値) であり、これは連続して $P(t)$ が大きくない時には、以前に求まっていた曲率を用いるのではなく、徐々に曲率を0に、すなわち直線に近づくように修正するためのものである。すなわち、充分エッジ点が追跡できれば、忠実な曲率が得られ、エッジ点が追跡できないような環境においては、直線検出の結果が出力されるようにする。なお、 $\beta=1$ の時は、 $P(t)=0$ であれば前回の値 $d(t-1)$ がそのまま出力される。

[0048] 最後に曲率 $d(t)$ と、直線検出の結果を組み合わせて、最終的な曲線式を3本求める。曲線式として曲線適合の結果 (c_i 、 e_i) を用いないのは、エッ

※は、遠方まで追跡できないため、曲線式の適合結果もよい精度で求まるとは限らない。そこで、3本の曲線それぞれの d_i の値を平均化して曲率とする。このとき確からしさとしては N_i を用いる。

[0042] 上記の平均化した曲率を d とすると、 d_i は下記 (数10) 式で求められる。

[0043]

[数10]

★ [0046]

[数11]

$$\sum_{i=1}^3 d_a \cdot N_a \quad \dots (数11)$$

[0047] 次に、上記の $N(t)$ を正規化して、 $P(t)$ を求める。例えば

$$\begin{cases} \text{if } N(t) \leq T_1 \\ \text{if } T_1 < N(t) < T_2 \\ \text{if } N(t) \geq T_2 \end{cases}$$

ジ点追跡の信頼性が直線検出より低いからである。直線式と曲線式は図7のような関係となる。図7において、①、②、③は直線を、④、⑤、⑥は曲線を示す。図7に示すように、画面下部の範囲においては、直線式と曲線式は一致する。直線式を決定する時の y 座標の凡その中心座標を y_c とする。この y_c は追跡領域の上限 ($y_{u..}$) と下限 ($y_{l..}$) の平均値とすればよい。また、直線 i における y_c の x 座標を x_{ci} とすると、直線式は

$$x_{ci} = a_i \cdot y_c + b_i \quad (i=1 \sim 6)$$

となる。求めるべき曲線は、点 (x_{ci} 、 y_c) を通り、その点での傾きは a_i で、曲率は $d(t)$ (以下単に d を表わす) とすると、求める式は下記 (数12) 式で示される。

[0049]

[数12]

$$x = f_1(y - y_m) + \frac{d}{y - y_m} + g_1 \quad \dots (数12)$$

【0050】上記(数12)式から下記(数13)式に
示す演算を行なうことにより、曲線式の係数 f_1 と g_1 が
求められる。

$$\frac{\partial x}{\partial y} = f_1 - \frac{d}{(y - y_m)^2}$$

より

$$a_1 = f_1 - \frac{d}{(y_m - y_m)^2}$$

となり、

$$f_1 = a_1 + \frac{d}{(y_m - y_m)^2}$$

となる。また、

$$x_{rd} = f_1(y_m - y_m) + \frac{d}{y_m - y_m} + g_1$$

より

$$g_1 = x_{rd} - f_1(y_m - y_m) - \frac{d}{y_m - y_m}$$

【0052】なお、図8に示すように、3本の曲線①に
おいて、本来 g_i は等しくなるはずである。すなわち、
3本の直線②

$$x = f_i(y - y_m) + g_i \quad (i = 1 \sim 3)$$

は、点 (g_i, y_m) で一点に集まる。したがって、 g_i ※

$$g = \frac{g_1 + g_2 + g_3}{3}$$

※を平均化して、 g としてもよい。 g は下記(数14)式
で示される。

【0053】
【数14】

… (数14)

【0054】また、 $f_1 - f_2 = f_2 - f_3$ は道路の幅に対
応する。したがって3本中の最も信頼できる曲線を確
らしきから求めて、それを例えば曲線1とすると、曲線
1、曲線2、曲線3は、それぞれ下記(数15)式とし*

30★でもよい。

【0055】

【数15】

$$x = f_1(y - y_m) + \frac{d}{y - y_m} + g_1 \quad (曲線1)$$

$$x = (f_1 + w)(y - y_m) + \frac{d}{y - y_m} + g_1 \quad (曲線2)$$

$$x = (f_1 + 2w)(y - y_m) + \frac{d}{y - y_m} + g_1 \quad (曲線3)$$

【0056】なお、(数15)式において、 w は道幅
(レーン幅)に対応する定数である。

【0057】

【発明の効果】以上説明したごとく、本発明において
は、前処理によってエッジ点を抽出した後、それぞれの
レーンマーカの左右端に対応する計6本の直線(2車線
の場合)をまず求め、その後、すべての直線が消失点に
て1点に交わるように各直線を決定するように構成した

ことにより、

①前処理はハードウェア化が簡単であり、高速で実行で
きる。

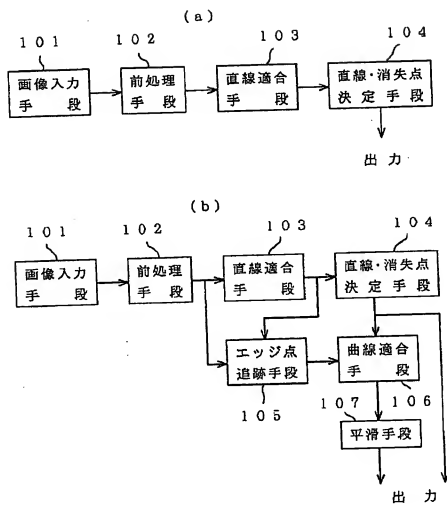
②後処理(前処理以降の処理)は処理アルゴリズムが簡
便なので処理時間を短縮することが出来る。すなわち、
候補点の追跡などは画面全体を走査する必要がないこ
と、直線適合も候補点の数が少なければ高速で実行でき
ること、直線式の決定は8元連立1次方程式を解けばよ

*

The diagram shows a coordinate system with a horizontal axis and a diagonal line representing the regression line. A point $(x(k), y(k))$ is plotted. The vertical distance from this point to the regression line is labeled $d(k)$. The horizontal distance from the point to the regression line is labeled x_e . The vertical distance from the regression line to the horizontal axis is labeled y_e . The regression line is labeled $x=a'(k)y+b'(k)$.

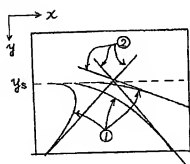
〔図1〕

(図1)

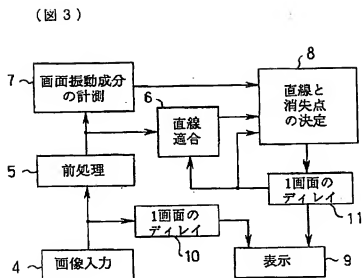


〔図8〕

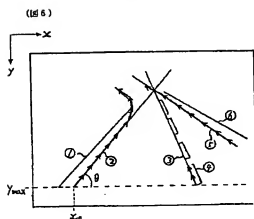
(図8)



【図3】



【図6】



【図7】

